



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO



**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA
E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA QUIMICA

**“DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES ADSORBENTES DEL CARBON
ACTIVADO OBTENIDO DE LA CASCARA Y SEMILLA DE MORINGA
(Moringa Oleífera)”**

TESIS

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERA QUIMICA**

AUTORA:

Bach. FLOR MARÍA MANOSALVA CHICOMA

ASESORA:

Dra. BLANCA MARGARITA ROMERO GUZMAN

LAMBAYEQUE

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO

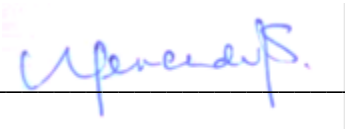


**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA
E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA QUIMICA**

**“DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES ADSORBENTES DEL CARBON
ACTIVADO OBTENIDO DE LA CASCARA Y SEMILLA DE MORINGA
(Moringa Oleífera)”**


**TESIS
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERA QUIMICA**

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:




Dr. Ing. Ángel Wilson Mercado Seminario

Presidente



M.Sc. Ing. José Enrique Hernández Oré

Secretario



Dr. Ing. Luis Antonio Pozo Suclupe

Vocal



Dra. Ing. Blanca Margarita Romero Guzmán

Asesora

DEDICATORIA

A Dios.

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

Por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

Mis padres Rosa Chicoma y Miguel Manosalva, por darme la vida, quererme mucho, creer en mí y porque siempre me apoyaron. Gracias por darme una carrera para mi futuro, todo esto se lo debo a ustedes.

Y a todos aquellos familiares y amigos que me apoyaron en todo momento, ustedes saben quiénes son.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, prestigiosa Universidad que me abrió las puertas para adquirir los conocimientos necesarios para formarme como Ingeniera integralmente.

A la Escuela de Ingeniería Química y su personal docente, por su aporte, dedicación, esmero y motivación para la culminación de nuestros estudios profesionales.

A mi asesora Dra. Blanca M. Romero Guzmán, que me apoyó y confió en mi trabajo, brindándome la asesoría necesaria para culminar satisfactoriamente el trabajo de tesis.

Al Dr. Guillermo Ruiz, quien me apoyo en los análisis del producto terminado.

Al Sr. Floriano, y Sra. Mercedes, por ayudarme con la manipulación de equipos y facilitarme el uso del material necesario para poder realizar las diferentes experimentaciones en el laboratorio.

INDICE

LISTA DE FIGURAS	I
LISTA DE TABLAS.....	II
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN	3
I. MARCO TEORICO.....	5
2.1. Moringa Oleífera	5
2.2. Adsorción	6
2.3 Carbón Activado	8
2.4. Adsorbato: Ácido acético glacial	12
II. MATERIAL Y METODOS.....	14
3.1. Tipo de Investigación	14
3.2. Variables.....	14
3.3. Población y Muestra.....	14
3.4. Materiales, reactivos y equipos	14
3.5. Métodos.....	16
III. RESULTADOS.....	22
4.1 Análisis de Materia Prima	22
4.2 Carbones activados obtenidos.....	22
4.3 Identificación de los Grupos Funcionales en los Carbones Activados obtenidos	22

4.4	Rendimiento del carbón activado	25
4.5	Análisis del carbón activado obtenido.....	25
4.6	Análisis estadístico ANOVA del carbón activado obtenido mediante el programa SPSS versión 24.	25
4.7	Determinación de las propiedades adsorbentes del carbón activado obtenido: Adsorción del acético glacial por el carbón activado	28
4.8	Determinación de las Isotermas de adsorción	29
IV.	DISCUSIÓN	33
V.	CONCLUSIONES	35
VI.	RECOMENDACIONES.....	36
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	37
VIII.	ANEXOS	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Moringa oleífera. Elaboración propia.	5
Figura 2. Estructura del ácido acético. Recuperado https://www.acidoacetico.org/	12
Figura 3. Secado en estufa. Elaboración propia.	16
Figura 4. Diagrama de obtención del carbón activado. Elaboración propia.	18
Figura 5. Muestras activadas con H_3PO_4 . Elaboración propia.	19
Figura 6. Muestras carbonizadas. Elaboración Propia.	19
Figura 7. Carbones activados obtenidos. Elaboración propia.	22
Figura 8. Espectro FTIRI del carbón de activado con H_3PO_4 , obtenido de la cáscara de moringa.....	23
Figura 9. Espectro FTIRI del carbón de activado con H_3PO_4 , obtenido de la semilla de moringa.....	24
Figura 10. Capacidad de Adsorción de Ácido Acético por C.A.C.M.	29
Figura 11. Forma lineal de la ecuación de Langmuir correspondiente a la figura 10.	30
Figura 12. Forma lineal de la ecuación de Freundlich correspondiente a la figura 10.	30
Figura 13. Capacidad de Adsorción del Ácido Acético por C.A.S.M.	31
Figura 14. Forma lineal de la ecuación de Langmuir correspondiente a la figura 13.	31
Figura 15. Forma lineal de la ecuación de Freundlich correspondiente a la figura 13.	32

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Equivalencias de unidades de concentración.	21
Tabla 2 Análisis proximal.	22
Tabla 3 Rendimiento del carbón activado obtenido (%).	25
Tabla 4 Análisis proximal	25
Tabla 5 Adsorbente: carbón activado de la cáscara de moringa.	28
Tabla 6 Adsorbente: carbón activado de semilla de moringa.	28
Tabla 7 Capacidad de Adsorción (Q^*) de Ácido Acético con 1g de C.A.C.M. y tiempo de contacto 1 hora.	29
Tabla 8 Capacidad de Adsorción (Q^*) de Ácido Acético con 1 g de C.A.S.M. y tiempo de contacto de 1 hora.	31
Tabla 9 Parámetros de las isothermas para la adsorción de ácido acético sobre Carbones activados.....	32

RESUMEN

El carbón activado es usado como adsorbente de gran eficacia y versatilidad y puede ser obtenido de materiales de bajo costo y fácil disponibilidad.

La presente investigación tiene como objetivo determinar las propiedades adsorbentes del carbón activado obtenido de la cáscara y semilla de moringa (*Moringa Oleífera*) procedente del Distrito de Jayanca, Lambayeque, para lo cual, el fruto fue sometido a un pre tratamiento, separado la cáscara y semilla los cuales fueron molidos finamente para los análisis de caracterización, posteriormente se les añadió el agente activante (H_3PO_4 al 85%) , llevados a una temperatura media de pirolisis de $400^{\circ}C$ en una Mufla Marca Thermo Scientific por 1 hora y analizar las isothermas de adsorción obtenidas a partir de soluciones de ácido acético glacial a diferentes concentraciones. Concluyendo: La caracterización de la cáscara y semilla de moringa dio valores para la ceniza de 11,37% y 12,77% respectivamente, acordes a la norma ASTM ; Se obtuvo carbón activado con rendimientos de $65,60 \pm 1,46\%$ para la cáscara de moringa y $56,90 \pm 1,37\%$ para la semilla; las propiedades adsorbentes del carbón activado obtenido se determinaron por su capacidad de adsorción, con 1250 mg de ácido acético/g de carbón activado de la cáscara de moringa, 833,33 mg de ácido acético/g de carbón activado de semilla de moringa y el modelo de isoterma que describió con mayor precisión los resultados experimentales fue el de Langmuir con un coeficiente de correlación R^2 de 0,9821.

Palabras claves: adsorción, rendimiento, agente activante, isothermas.

ABSTRACT

Activated carbon is used as a highly efficient and versatile adsorbent and can be obtained from low cost materials and easy availability.

The present investigation aims to determine the adsorbent properties of activated carbon obtained from the shell and seed of moringa (*Moringa Oleífera*) from the District of Jayanca, Lambayeque, for which, the fruit was subjected to a pre-treatment, separated the shell and seed which were finely ground for characterization analyzes, subsequently the activating agent (85% H_3PO_4) was added, brought to an average pyrolysis temperature of 400°C in a Thermo Scientific Brand Muffle for 1 hour and analyze the isotherms of adsorption obtained from solutions of glacial acetic acid at different concentrations. Concluding: The characterization of the shell and seed of moringa gave values for the ash of 11.37% and 12.77% respectively, according to the ASTM standard; Activated carbon was obtained with yields of $65.60 \pm 1.46\%$ for the moringa shell and $56.90 \pm 1.37\%$ for the seed; the adsorbent properties of the activated carbon obtained were determined by its adsorption capacity, with 1250 mg of acetic acid / g of activated carbon from the moringa shell, 833.33 mg of acetic acid / g of activated carbon from moringa seed and the Isothermal model that described more accurately the experimental results was that of Langmuir with an R^2 correlation coefficient of 0.9821.

Keywords: adsorption, performance, activating agent, isotherms.

INTRODUCCIÓN

Los crecientes problemas de contaminación del medio ambiente han conducido a la búsqueda de materias primas alternativas, de disponibilidad segura y bajo costo, para la obtención de adsorbentes, entre ellos carbón activado. En la Región de Lambayeque se tiene gran cantidad de recursos biomasicos como residuos agro-industriales, semillas y cáscaras de frutas, tal es el caso de la *Moringa Oleífera*, con propiedades medicinales siendo las hojas aprovechadas y de gran demanda en el mercado, pero la cáscara del fruto y su semilla son desechadas por desconocimiento de sus potencialidades. Al respecto varias investigaciones de aprovechamiento de biomasa se han realizado para la obtención de carbón activado, entre ellos Burgos y Jaramillo (2015), utilizan los residuos de las cáscaras de cacao y coco provenientes del cantón Milagro, provincia del Guayas, Ecuador, para la obtención de carbón activado. Los carbones activados de la cáscara de coco tuvo porcentajes de Humedad, cenizas y densidad aparente respectivamente 9,84%, 12,75 % y 0,40 g/ml y para la cáscara de cacao 15,41%, 27,12% y 0,23 g/ml y comparados con el carbón activado comercial de 19,2%, 12,3% y 0,29 g/ml, indicando que el carbón activado de cáscara de coco está dentro de los rangos según los requisitos de la norma INEN 1991:94 para carbón activado en polvo y el de la cáscara de cacao está fuera del rango. En la prueba de capacidad de adsorción del azul de metileno, la concentración de este último con el carbón activado de coco, disminuye conforme avanza el tiempo, mientras que con el carbón activado de cacao no hay mucha diferencia de concentración entre 3 y 6 horas de contacto.

Delgadillo (2011) obtiene carbones activados a partir de pepas de níspero de palo (*Mespilus communi*), por activación química utilizando como agentes activante ácido fosfórico (H_3PO_4) e hidróxido de potasio (KOH), y comprueba su capacidad de adsorción en soluciones de fenol.

Hernández, Atzin, & Hernández, (2018), obtiene carbones activados a partir de la semilla de chalahuite (nombre que se le conoce en México al pacay), empleando el ácido fosfórico (H_3PO_4) al 80%, y ácido clorhídrico (HCl) al 30 %, como agentes activante. Para comprobar el grado de adsorción de los carbones activados con los diferentes tratamientos se utilizó ácido oxálico al 0,25 M, obteniendo que el carbón activado con ácido fosfórico al 80%, tuvo una eficiencia del 81%, frente al carbón activado comercial de 76% de eficiencia.

La formulación del problema fue: ¿Es posible obtener Carbón Activado a partir de la cáscara y semilla de Moringa con buenas propiedades adsorbentes?

Con la hipótesis: El Carbón activado obtenido de la cáscara y semilla de Moringa presenta reconocida propiedad adsorbente expresada en su alta capacidad de adsorción.

Con los siguientes objetivos: 1) Caracterizar la cáscara y semilla de Moringa 2) Obtener carbón activado de la cáscara y semilla y 3) Determinar las propiedades adsorbentes del carbón activado obtenido, mediante las isothermas de Langmuir y Freundlich a partir de soluciones de ácido acético a diferentes concentraciones.

I. MARCO TEORICO

2.1. Moringa Oleífera

2.1.1 Generalidades

Conocido como moringa, ben, es un árbol originario del norte de India. Crece en casi cualquier tipo de suelo, incluso en condiciones de elevada aridez estacional, lo que hace de esta planta un recurso para las poblaciones que habitan en estas zonas, florece a los siete meses de su plantación, las flores son fragantes, de color blanco o crema, de 2,5 cm de diámetro. Produce vainas colgantes color marrón, triangulares, de 30 a 120 cm de largo por 1,8 cm de ancho, divididas longitudinalmente en 3 partes cuando se secan, cada una contiene aproximadamente veinte semillas incrustadas en la médula, las cuales son de color marrón oscuro (Duke, 2018).

2.1.2 Clasificación taxonómica de la planta

Según (García, Martínez y Rodríguez, 2013):

Reino: Plantae

Familia: Moringaceae

Origen: Capparidales

Clase: Magnoleopsida

Género: Moringa

Especie: m. oleífera



Figura 1. Moringa oleífera. Elaboración propia.

2.1.3 Importancia y Usos

Las flores son ricas en carbohidratos y tienen un buen sabor. El aceite extraído de sus semillas es de alta calidad, rico en ácidos grasos insaturados y tiene muchas aplicaciones. También se cultiva como un importante recurso para fabricar biodiesel de calidad. Las vainas y semillas se utilizan para purificación del agua. La ventaja de usar estas semillas es doble: sustituye productos importados por uno local de fácil acceso y, a diferencia del sulfato de aluminio, es completamente biodegradable.

La moringa podría utilizarse como soporte para las plantas de banano; también sus hojas al caer servirían como abono verde, debido a que pueden proveer cantidades importantes de nitrógeno. (Pérez, Sánchez, Armengol, & Reyes, 2010)

2.2. Adsorción

Es un fenómeno de interfase. Este fenómeno se puede manifestar entre un sólido y un gas, o entre un sólido y un líquido. La fijación proviene del establecimiento (entre el sólido y las moléculas), conexiones con energías de interacción dadas. Existe dos tipos de adsorción. (Boutaréne, 2016)

2.2.1 Tipos de Adsorción

2.2.1.1 Adsorción física

Ocurre a bajas temperaturas y se caracteriza por una baja energía de adsorción. La interacción del contaminante con la superficie se puede hacer simplemente gracias a las fuerzas físicas de atracción (interacciones intermoleculares, fuerzas de polarización, dipolo, fuerzas de van der Waals) para conducir a la adsorción de la superficie. La unión de las moléculas de adsorbato en la superficie del adsorbente es con enlaces relativamente débiles. La fisisorción se produce rápidamente porque no se necesita energía de

activación. No hay cambios en la estructura molecular y el mecanismo es perfectamente reversible. (Boutaréne, 2016)

2.2.1.2 Adsorción química

Implica uno o más enlaces químicos covalentes o iónicos entre el adsorbato y el adsorbente. La quimisorción es generalmente irreversible, produciendo una modificación de las moléculas adsorbidas, estas últimas no pueden ser acumuladas en más de una monocapa. Este tipo de adsorción se refiere a moléculas directamente relacionadas con el sólido, que requiere de alta energía de adsorción y es favorecida por las altas temperaturas. (Boutaréne, 2016)

2.2.2. Isotermas de adsorción

Describen la relación existente con el equilibrio de adsorción entre la cantidad adsorbida y la concentración de soluto en un disolvente dado a una temperatura constante. (Boutaréne, 2016).

a) Modelo de Langmuir

El modelo de Langmuir supone que la adsorción tiene lugar en sitios de la misma energía y que no hay interacción entre las moléculas adsorbidas. (Boutaréne, 2016).

La ecuación correspondiente a esta isoterma es:

$$\frac{1}{Q^*} = \frac{1}{Q_m} + \frac{1}{k Q_m} \frac{(1)}{(C_e)} \dots\dots\dots (1)$$

$$Q^*(\text{mg /g}) = \frac{V (C_o - C_e)}{W}$$

C_o = concentración inicial de la solución con adsorbato (mg/l)

Q^* = capacidad de adsorción de un adsorbente en el equilibrio (soluto adsorbido / peso de adsorbente) (mg/g).

C_e = concentración de equilibrio del adsorbato luego de la adsorción (mg/l).

V = volumen de la solución que contiene el adsorbato (l)

k = constante de Langmuir relacionada con la energía de adsorción (l/mg),

Q_m = capacidad máxima de soluto adsorbido por peso de adsorbente (mg/g)

b) Modelo de Freundlich

Este modelo establece una relación entre la cantidad de impurezas adsorbidas y la cantidad restante en fase líquida. (Boutarène, 2016)

La ecuación correspondiente a esta isoterma es:

$$\log Q^* = \log K_f + 1/n \log C_e \quad \dots\dots (2)$$

Q^* = capacidad de adsorción de un adsorbente en el equilibrio (soluto adsorbido / peso de adsorbente) (mg/g).

C_e = Concentración de equilibrio del adsorbato luego de la adsorción (mg/l).

n = Intensidad de adsorción

K_f = Constante de isoterma de Freundlich, medida de la capacidad del adsorbente (mg/g)

2.3 Carbón Activado

El carbón activado es un material a base de carbono que posee alta porosidad, la cual se desarrolla durante el proceso de activación. En un carbón activado las propiedades texturales (formadas por intersticios y poros), así como las propiedades químicas superficiales (formadas por grupos funcionales) dependen de la materia prima, de los tratamientos a los que ésta se haya sometido y del método de preparación. Los carbones activados suelen tener características texturales muy variadas y diversas aplicaciones. (Delgadillo, 2011).

Respecto al tamaño de poros, el carbón activado presenta un amplio rango. La clasificación por tamaños más generalizada, propuesta por la IUPAC, comprende las siguientes clases de poros:

- Macroporos: poros de tamaño superior a 50 nm
- Mesoporos: poros de tamaño entre 2 y 50 nm
- Microporos: poros de tamaño inferior a 2 nm

Los macroporos son la vía de entrada al carbón activado, los mesoporos realizan el transporte, y los microporos la adsorción (Delgadillo, 2011).

2.3.1 Propiedades químicas

En la superficie del carbón se encuentran ubicados diversos grupos funcionales, entre ellos grupos oxigenados y nitrogenados, situados en los bordes de los planos grafíticos del carbón. La presencia de los grupos funcionales es responsables de la reactividad química de la superficie del carbón. Esta reactividad afecta las propiedades adsorbentes del carbón y éste puede considerarse hidrófobo, lo que facilita su aplicación en adsorción de gases en presencia de humedad o especies en solución acuosa, de preferencia moléculas apolares (Delgadillo, 2011)

2.3.2 Aplicaciones del Carbón Activado

- ✓ Tratamiento de agua potable y aguas residuales,
- ✓ Tratamiento de la contaminación atmosférica,
- ✓ Recuperación de solventes,
- ✓ En medicina: Tratamiento contra intoxicaciones,
- ✓ Tratamiento de bebidas alcohólicas,
- ✓ Deodorización y decoloración de alimentos,

- ✓ Almacenamiento de gases,
- ✓ Eliminación de materia orgánica y sustancias tóxicas en gases industriales (Orosco, Pérez, González, Rodríguez, y Alfayate, 2004).

2.3.3 Preparación de los Carbones Activados

Cualquier material orgánico con alto contenido de carbono puede transformarse en carbón activado. Sin embargo, para elegir un precursor adecuado se debe tener en cuenta: buena disponibilidad, bajo costo, bajo contenido en cenizas y que el carbón resultante tenga una elevada capacidad de adsorción. Los residuos agrícolas lignocelulósicos tienen las características apropiadas, según han demostrado diversas investigaciones. Una composición típica de materiales lignocelulósicos es aproximadamente; 48% C, 6% H y 45% O, y bajo contenido de cenizas. (Suhas, Carrott, & Ribeiro, 2007)

- **Activación física**

Llamada también activación térmica, se produce por la reacción del agente oxidante con el carbono del material precursor, las etapas son:

- Carbonización del precursor: a temperaturas del orden de los 800°C en atmósfera inerte para eliminar las sustancias volátiles. En esta etapa se genera un producto intermedio con alto contenido de carbono, denominado comúnmente Char.
- Activación del Char: se realiza mediante gasificación controlada (flujo de gas, temperatura, velocidad de calentamiento, etc.), utilizando un agente oxidante suave generalmente vapor de agua o CO₂, y temperaturas entre 800 y 1100°C. En esta etapa, el oxidante reacciona con los átomos de carbono del char y produce un quemado selectivo que va formando poros en su estructura, en forma progresiva. De esta manera, la

porosidad se incrementa hasta transformar el char en un carbón activado. (Delgadillo, 2011)

• **Activación química**

Este tipo de activación el precursor se hace reaccionar con un agente químico activante. En este caso la activación suele tener lugar en una única etapa a temperaturas que pueden variar entre 400 y 900°C. No obstante, en este tipo de activación, es necesaria una etapa posterior de lavado del carbón activado para eliminar los restos del agente activante.

Existen numerosos compuestos que podrían ser usados como agentes activante, sin embargo, los más usados industrialmente son el cloruro de zinc (ZnCl_2), el ácido fosfórico (H_3PO_4) y el hidróxido de potasio (KOH). La activación química con ZnCl_2 fue el método más usado hasta 1970, especialmente para la activación de residuos de madera. Su uso, sin embargo, se ha restringido mucho en la actualidad debido a los problemas medioambientales que conlleva el uso del ZnCl_2 . (Grisales Motato & Rojas Arrieta, 2016)

2.3.4 Técnicas de Caracterización de los Carbones Activados

2.3.4.1. Análisis químico proximal.

Técnica que sirve para determinar el contenido porcentual de volátiles, carbón fijo y cenizas en el carbón activado. La determinación de cenizas es importante, debido a que la cantidad y naturaleza de éstas afectan su desempeño como adsorbente. Es deseable un bajo contenido de compuestos inorgánicos que podrían interferir en el proceso de adsorción del carbón activado. (Delgadillo, 2011).

2.3.4.2. Análisis de Espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR)

Esta técnica provee información cualitativa sobre todos los grupos funcionales presentes en los carbonos y se basa en los mismos principios del análisis funcional tradicional de la química orgánica. Así, a cada grupo se le asigna una o varias bandas características. (Delgadillo, 2011).

2.4. Adsorbato: Ácido acético glacial

2.4.1. Estructura, propiedades físicas y químicas del ácido acético glacial

Ácido acético: También llamado ácido etanoico o ácido metilencarboxílico, es un ácido orgánico, se puede encontrar en forma de ion acetato. De acuerdo con la IUPAC se denomina sistemáticamente ácido etanoico. El nombre glacial se refiere al ácido acético anhidro, es decir, sin presencia de agua.

Estructura y formula

Su fórmula es **CH₃-COOH (C₂H₄O₂)**, siendo el grupo carboxilo el que le proporciona las propiedades ácidas a la molécula.

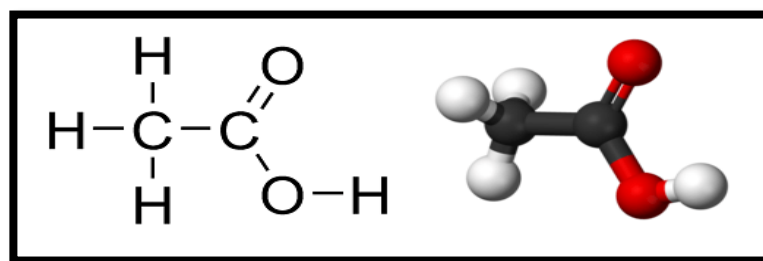


Figura 2. Estructura del ácido acético. Recuperado <https://www.acidoacetico.org/>

Propiedades físicas

- Líquido hidróscopico
- Incoloro

- Inodoro, olor punzante (a vinagre)
- Punto de ebullición de 118,05°C
- Punto de fusión de 16,6°C

Propiedades químicas

- Soluble en agua, alcohol, éter, glicerina, acetona, benceno, y tetracloruro de carbono.
- Buen disolvente de varios compuestos orgánicos y de algunos inorgánicos como el azufre y el fósforo.
- Anhidro cristaliza a 17°C tomando un aspecto parecido al hielo, conocido como ácido acético glacial.
- Momento dipolar de 1,74 D
- Es insoluble en sulfuro de carbono.

II. MATERIAL Y METODOS

3.1. Tipo de Investigación

De acuerdo al fin que se persigue: Aplicada

De acuerdo al diseño de investigación: Experimental

3.2. Variables

Variables Independientes:

Carbón activado de la cáscara y semilla de moringa oleífera.

Variables Dependientes:

Porcentaje de adsorción.

3.3. Población y Muestra

Población: 1,80 kg Moringa Oleífera, procedente del Distrito de Jayanca – Lambayeque.

Muestra: 1,80 kg de Moringa Oleífera, de la cual se separaron la semilla y la cáscara.

3.4. Materiales, reactivos y equipos

Materiales

Bandeja de Aluminio de 20 cm

Zaranda

Recipiente

Vasos de precipitación de 50, 100 y 200 ml

Matraces de 125 y 250 ml

Pipetas de 10 y 25 ml

Embudos

Pinzas de metal

Varillas de vidrio

Papel filtro

Crises de material refractario

Capsulas de porcelana

Probetas de 100 ml

Reactivos

Ácido fosfórico (H_3PO_4)

HCl al 5%

Azul de Metileno

Ácido acético glacial 0,15N

NaOH 0,1N

Equipos

Balanza Digital de 3 dígitos, marca BH-300 Excell

Estufa Marca MEMMERT

Espectrofotómetro infrarrojo con Transformada de Fourier, Marca PERKIN ELMER,

Modelo Spectrum Two, barrido de 4000 a 450 cm^{-1}

Mufla Marca THERMO SCIENTIFIC

Desecador con gel de sílice

Molino Marca TRAMONTINA

Tamizador Marca Ele International

Cocina Eléctrica Marca OFINEZZA

3.5. Métodos

3.5.1. Tratamiento previo de la materia prima

Los frutos de moringa fueron lavadas con agua potable a temperatura ambiente, para eliminar la suciedad, mayormente polvo y luego ser colocadas en un tamiz para su escurrido. Posteriormente fueron secadas en una estufa Marca MEMMERT por espacio de 1 hora, a 110°C (Figura 3), al término del cual se separó la cáscara y la semilla de moringa, y mediante un molino Marca TRAMONTINA fueron trituradas finamente y ser utilizada en los distintos análisis.



Figura 3. Secado en estufa. Elaboración propia .

3.5.2. Análisis proximal de la materia prima

Se determinó el porcentaje de humedad, material volátil, cenizas y el contenido de carbono fijo de la cáscara y semilla de moringa, mediante los métodos de ASTM cómo: ASTM D 2867-04 (humedad), ASTM D 3175 (materia volátil), ASTM 2866-94 (ceniza), y ASTM D 3838- 80 (pH).

3.5.3 Preparación del carbón activado

Método de Activación Química antes de la Carbonización:

Se seleccionaron dos capsulas de porcelana, y en una de ellas se colocó 10 g de cáscara molida y en la otra capsula 10 g de semilla de moringa molida, y a cada una de ellas se añadió el agente activante (H_3PO_4) distribuyéndolo uniformemente y ambas fueron colocadas en la estufa Marca MEMMERT a una temperatura de 110°C por 24 horas, para luego llevarlo a una temperatura media de pirolisis de 400°C en una Mufla Marca THERMO SCIENTIFIC por 1 hora. Luego de la carbonización las muestras fueron enfriadas para poder realizar el primer lavado con solución de HCl al 5% y luego con agua destilada hasta ajustar entre 5 a 7 el pH, posteriormente las muestras se llevaron a la estufa a una temperatura de 110°C por 48 horas.

Finalmente la muestra fue tamizada por una malla N° 30, y almacenada, para ser utilizado en los ensayos de adsorción.

En la figura 4, se presenta el proceso de obtención del carbón activado.

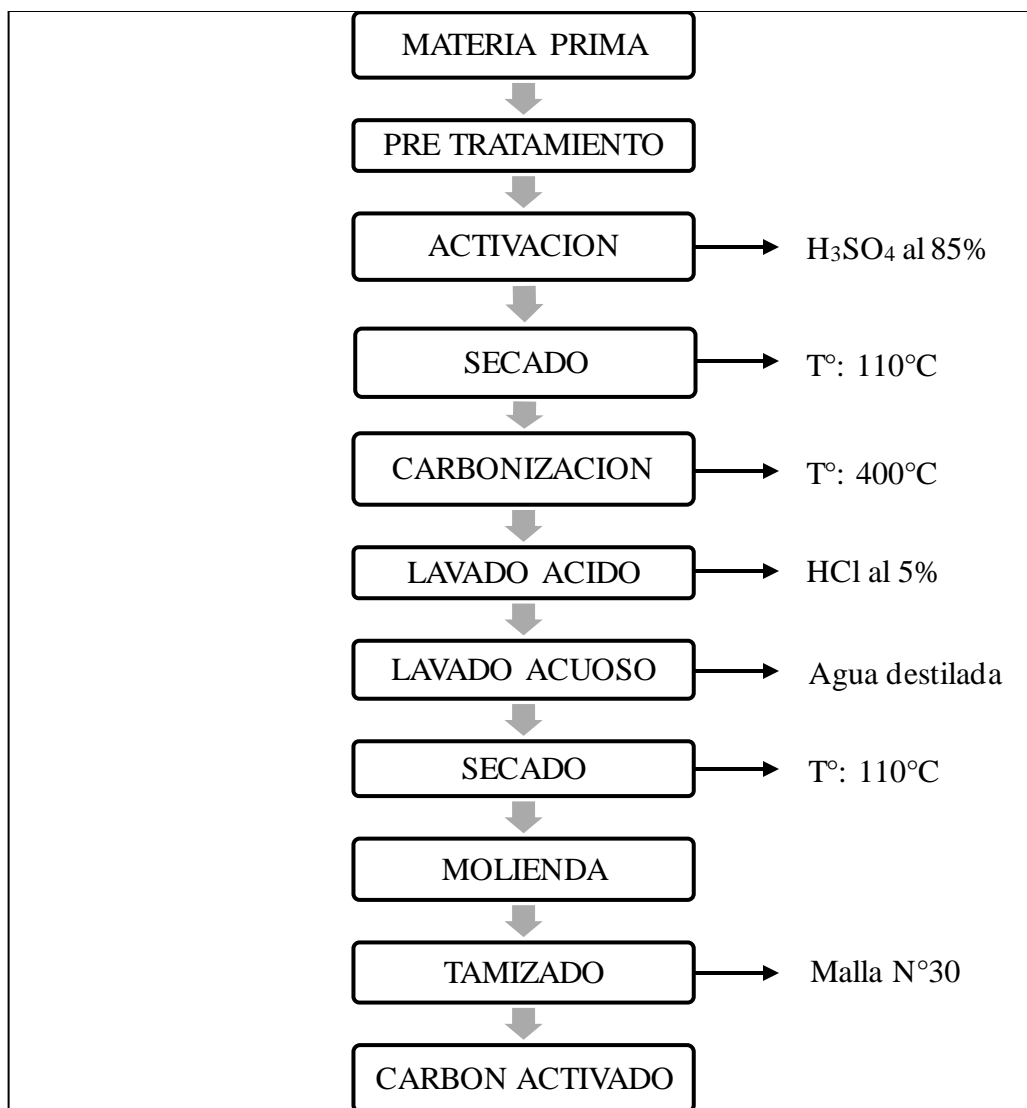


Figura 4. Diagrama de flujo de obtención del carbón activado. Elaboración propia.



Figura 5. Muestras activadas con H_3PO_4 . Elaboración propia.



Figura 6. Muestras carbonizadas. Elaboración Propia.

3.5.4 Análisis proximal del carbón activado

Determinación de porcentaje de humedad, materia volátil, cenizas y el carbono fijo del carbón activado obtenido de la cáscara y semilla de moringa, según los métodos de Fernández & Santoyo, 1997.

3.5.5 Análisis de Espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR)

Con el fin de detectar los grupos funcionales presentes en el carbón activado obtenido, se llevó a cabo el análisis en un Espectrofotómetro infrarrojo con transformada de Fourier, marca PERKIN ELMER, Modelo Spectrum Two, barrido de 4000 a 450 cm^{-1} .

3.5.6 Rendimiento de los carbones activados


El rendimiento de carbón activado es un parámetro muy importante debido a que nos permite conocer si el precursor y el método usado resultan económicos, dado que es deseable un proceso en que se obtenga la máxima cantidad de carbón activado por masa de precursor (Delgadillo, 2011).

$$\% \text{RENDIMIENTO} = \frac{\text{MASA DE CARBON ACTIVADO OBTENIDO}}{\text{MASA DE CÁSCARA O SEMILLA DE MORINGA EMPLEADA}} \times 100$$

3.5.7 Determinación de las propiedades adsorbentes de los carbones activados obtenidos: Adsorción del acético glacial

- a) Se escogió ocho matraces de 250 ml de capacidad.
- b) Se preparó 1/2 litro de ácido acético glacial 0,15M como solución patrón y a partir de esta solución se preparó 200 ml de soluciones (0,12M, 0,09M, 0,06M, 0,03M) por duplicado, estas fueron designadas como concentración inicial (Co).
- c) Se pesó 1 g de carbón activado obtenido de la cáscara y semilla de moringa por triplicado.
- d) En c/u de los matraces con solución se colocó 1 g de carbón activado, agitando de rato en rato y por espacio de 1 hora.
- e) Después de ese tiempo, se filtró y se tomó 25 ml de filtrado y se tituló con NAOH 0,1N, se anotó el gasto, se calcula la concentración final (Ce).

Tabla 1
Equivalencias de unidades de concentración.

C.C. de ácido acético (moles litro)		CC de ácido acético (mg/l)
0,12M		7200
0,09M		5400
0,06M		3600
0,03M		1800

Nota. Elaboración propia

f) Determinación de las isothermas de adsorción.

Con los datos obtenidos se procedió a elaborar las isothermas de adsorción: de Langmuir

($1/Q^*$ vs $1/C_e$) y Freundlich ($\log Q^*$ vs $\log C_e$).

III. RESULTADOS

4.1 Análisis de Materia Prima

Tabla 2
Análisis proximal.

Muestra	Cáscara de moringa					Semilla de moringa				
	M1	M2	M3	\bar{x}	σ	M1'	M2'	M3'	\bar{x}	σ
Carbón Fijo (%)	65,20	63,00	67,00	65,07	2,00	68,00	65,00	63,20	65,40	2,42
Ceniza (%)	10,80	12,00	11,30	11,37	0,60	12,00	15,90	10,40	12,77	2,83
Humedad (%)	5,20	7,00	6,20	6,13	0,90	4,20	4,15	4,30	4,22	0,08
Materia Volátil (%)	18,80	20,00	16,00	18,25	2,05	15,80	14,50	17,20	15,83	1,35

Nota. Elaboración propia

4.2 Carbones activados obtenidos



Figura 7. Carbones activados obtenidos. Elaboración propia.

4.3 Identificación de los Grupos Funcionales en los Carbones Activados obtenidos

Mediante el análisis de espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR).

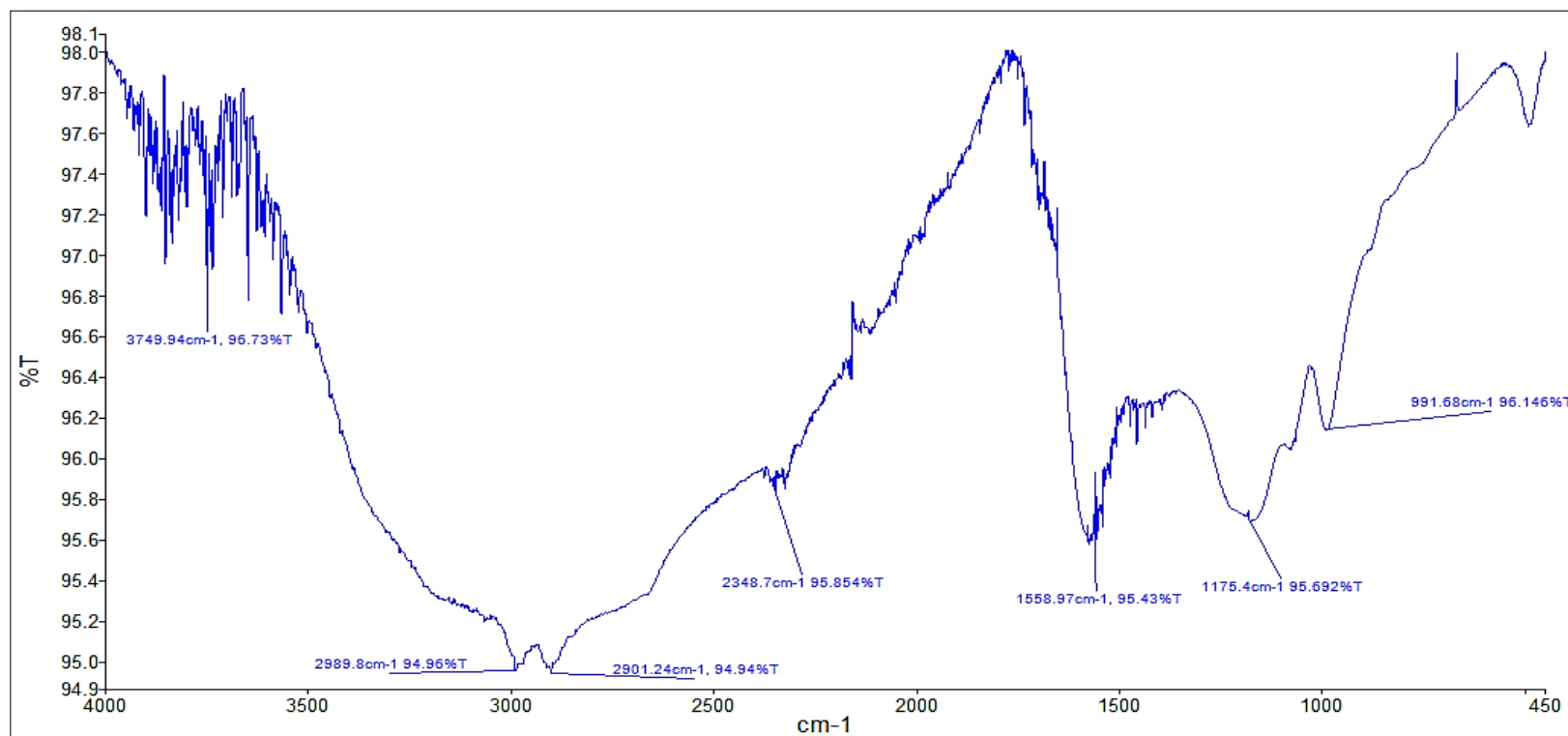


Figura 8. Espectro FTIR del carbón de activado con H_3PO_4 , obtenido de la cáscara de moringa.

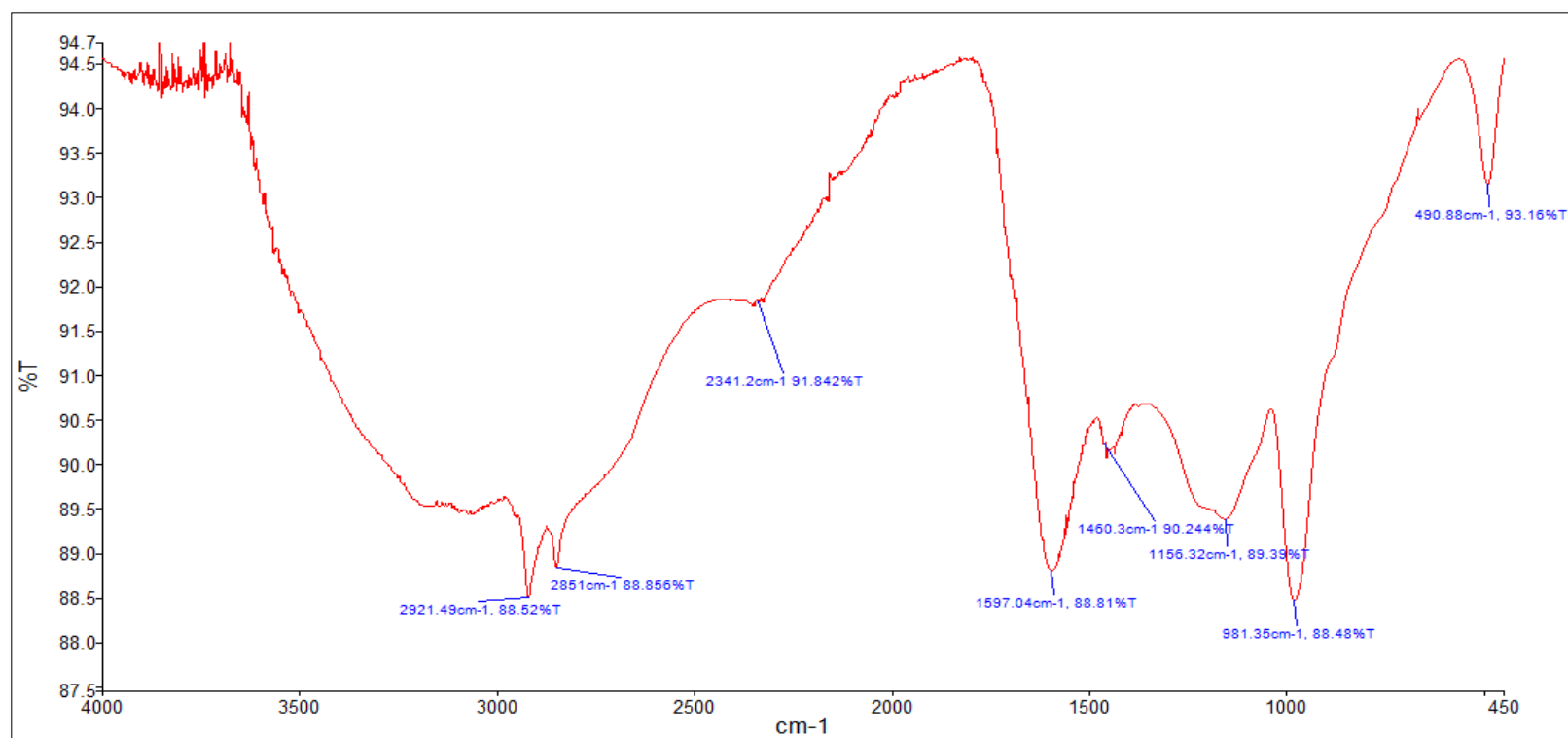


Figura 9. Espectro FTIR del carbón de activado con H_3PO_4 , obtenido de la semilla de moringa.

4.4 Rendimiento del carbón activado

Tabla 3

Rendimiento del carbón activado obtenido (%).

De Cáscara de moringa	De semilla de moringa
65,60 \pm 1,46	56,90 \pm 1,37

Nota. Elaboración propia

4.5 Análisis del carbón activado obtenido

Tabla 4

Análisis proximal

Muestra	De Cáscara de moringa					De Semilla de moringa				
	M1	M2	M3	\bar{x}	σ	M1'	M2'	M3'	\bar{x}	σ
Carbón Fijo (%)	60,17	56,00	54,60	56,92	2,9	68,33	65,00	66,20	66,51	1,69
Ceniza (%)	14,80	13,60	14,00	14,13	1,52	11,00	13,80	10,20	11,67	1,89
Humedad (%)	4,00	5,00	4,90	4,63	0,55	4,00	4,80	5,00	4,60	0,53
Materia Volátil (%)	20,83	25,00	22,00	22,61	2,15	16,67	16,30	17,50	16,82	0,61

Nota. Elaboración propia

4.6 Análisis estadístico ANOVA del carbón activado obtenido mediante el programa SPSS versión 24.

Se tomó los resultados de la tabla 4, para el análisis de varianza Anova teniendo como variables independiente carbón activado (de semilla y de cáscara de moringa) y como variable dependiente (% carbón fijo, % ceniza, % humedad y % materia volátil).

Factores inter-sujetos

		Etiqueta de valor	N
CA	1,00	carbón activado de cáscara de moringa	3
	2,00	carbón activado de semilla de moringa	3

Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: **carbón fijo**

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	137,856 ^a	1	137,856	24,530	,008
Intersección	22853,682	1	22853,682	4066,516	,000
CA	137,856	1	137,856	24,530	,008
Error	22,480	4	5,620		
Total	23014,018	6			
Total corregido	160,336	5			

a. R al cuadrado = ,860 (R al cuadrado ajustada = ,825)

Variable dependiente: **ceniza**

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	54,000 ^a	1	54,000	10,902	,030
Intersección	1290,667	1	1290,667	260,565	,000
CA	54,000	1	54,000	10,902	,030
Error	19,813	4	4,953		
Total	1364,480	6			
Total corregido	73,813	5			

a. R al cuadrado = ,732 (R al cuadrado ajustada = ,664)

Variable dependiente: humedad

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	,002 ^a	1	,002	,006	,943
Intersección	127,882	1	127,882	438,451	,000
CA	,002	1	,002	,006	,943
Error	1,167	4	,292		
Total	129,050	6			
Total corregido	1,168	5			

a. R al cuadrado = ,001 (R al cuadrado ajustada = -,248)

Variable dependiente: Materia volátil

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	50,228 ^a	1	50,228	20,076	,011
Intersección	2332,482	1	2332,482	932,259	,000
CA	50,228	1	50,228	20,076	,011
Error	10,008	4	2,502		
Total	2392,718	6			
Total corregido	60,236	5			

a. R al cuadrado = ,834 (R al cuadrado ajustada = ,792)

4.7 Determinación de las propiedades adsorbentes del carbón activado obtenido: Adsorción del acético glacial por el carbón activado

Tabla 5

Adsorbente: carbón activado de la cáscara de moringa.

N° de Muestra	Co (ácido acético mg/l)	Peso de carbón activado(g)	Volumen de solución (ml)	Ce (ácido acético mg/l)	$Q^*(\text{mg /g}) = \frac{V (Co - Ce)}{W}$	1/Q* (g/mg)	1/Ce (l/mg)	logQ*	logCe
1	7200	1	200	4200	600	0,0017	0,0002	2,78	3,62
2	5400	1	200	2880	504	0,0020	0,0003	2,70	3,46
3	3600	1	200	2016	317	0,0032	0,0005	2,50	3,30
4	1800	1	200	1104	139	0,0072	0,0009	2,14	3,04

Tabla 6

Adsorbente: carbón activado de semilla de moringa.

N° de Muestra	Co (ácido acético mg/l)	Peso de carbón activado(g)	Volumen de solución (ml)	Ce(ácido acético mg/l)	$Q^*(\text{mg /g}) = \frac{V (Co - Ce)}{W}$	1/Q* (g/mg)	1/Ce (l/mg)	logQ*	logCe
1	7200	1	200	3840	672	0,0015	0,00026	2,83	3,58
2	5400	1	200	2640	552	0,0028	0,00038	2,74	3,42
3	3600	1	200	1920	336	0,0030	0,00052	2,53	3,28
4	1800	1	200	1080	144	0,0069	0,00093	2,16	3,03

4.8 Determinación de las Isotermas de adsorción

El análisis de las isotermas de adsorción es importante debido a que permite establecer el mecanismo de interacción adsorbato-adsorbente, y así facilitar la aplicación del adsorbente en un sistema específico, en este caso el sistema sólido-líquido.

4.8.1. Para el carbón activado de la cáscara de moringa C.A.C.M.)

Tabla 7

Capacidad de Adsorción (Q^) de Ácido Acético con 1g de C.A.C.M. y tiempo de contacto 1 hora.*

Co (ácido acético mg/l)	Ce(ácido acético mg/l)	$Q^*(\text{mg/g}) = \frac{V(Co - Ce)}{W}$
7200	4200	600,00
5400	2880	504,00
3600	2016	316,80
1800	1104	139,20

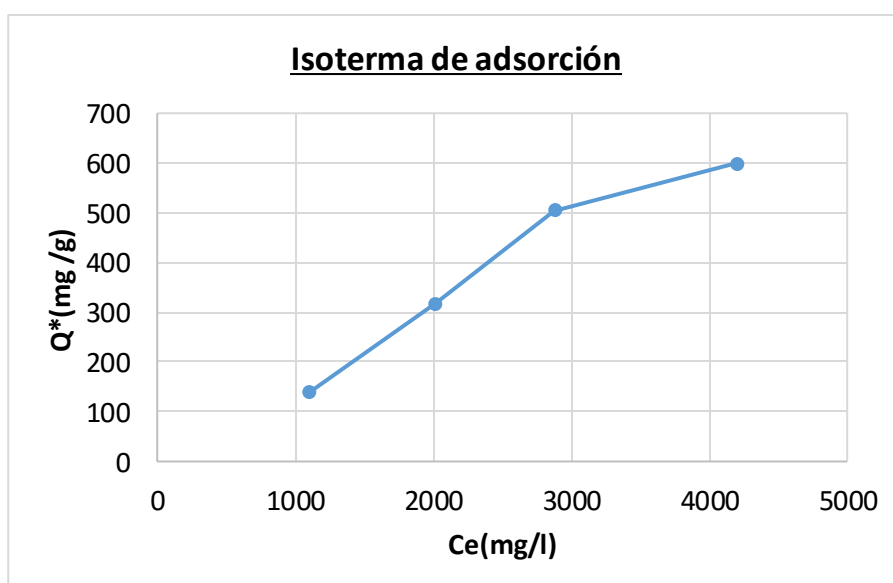


Figura 10. Capacidad de Adsorción de Ácido Acético por C.A.C.M.

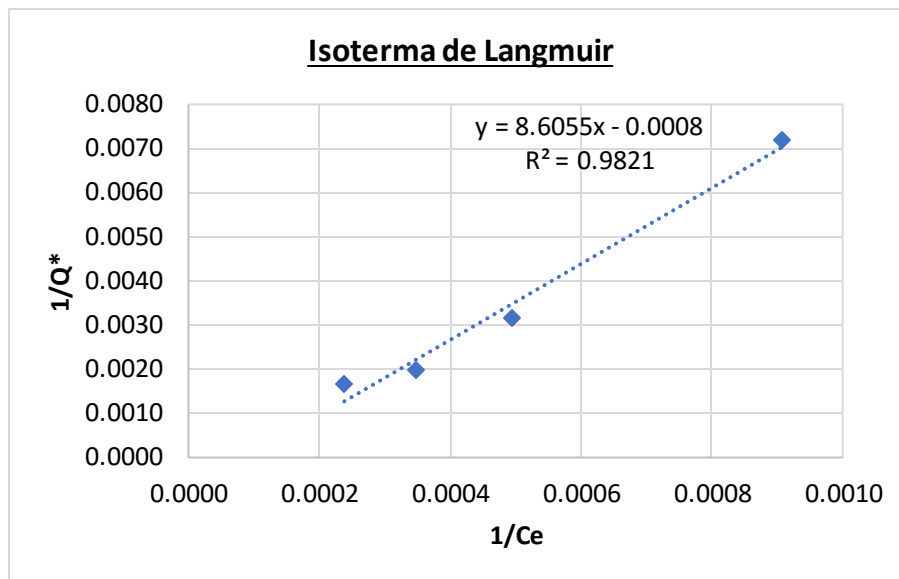


Figura 11. Forma lineal de la ecuación de Langmuir correspondiente a la figura 10.

De la ecuación lineal obtenemos $Q_m = 1250$ mg de ácido acético adsorbido/g de C.A.C.M., $K = 2,198 \times 10^{-4}$ l/mg.

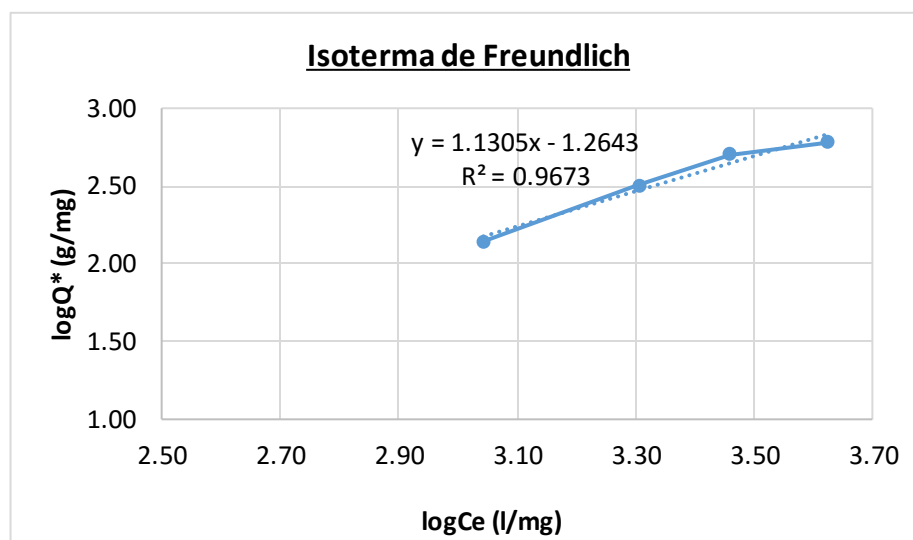


Figura 12. Forma lineal de la ecuación de Freundlich correspondiente a la figura 10.

De la ecuación lineal obtenemos: $n = 0,885$, $K_f = 0,0544$ mg de ácido acético adsorbido/g de C.A.C.M.

4.8.2. Para el carbón activado obtenido de la Semilla de Moringa (C.A.S.M.)

Tabla 8

Capacidad de Adsorción (Q^*) de Ácido Acético con 1 g de C.A.S.M. y tiempo de contacto de 1 hora.

Co (ácido acético mg/l)	Ce(ácido acético mg/l)	$Q^*(\text{mg/g}) = \frac{V(Co - Ce)}{W}$
7200	3840	672,00
5400	2640	552,00
3600	1920	336,00
1800	1080	144,00

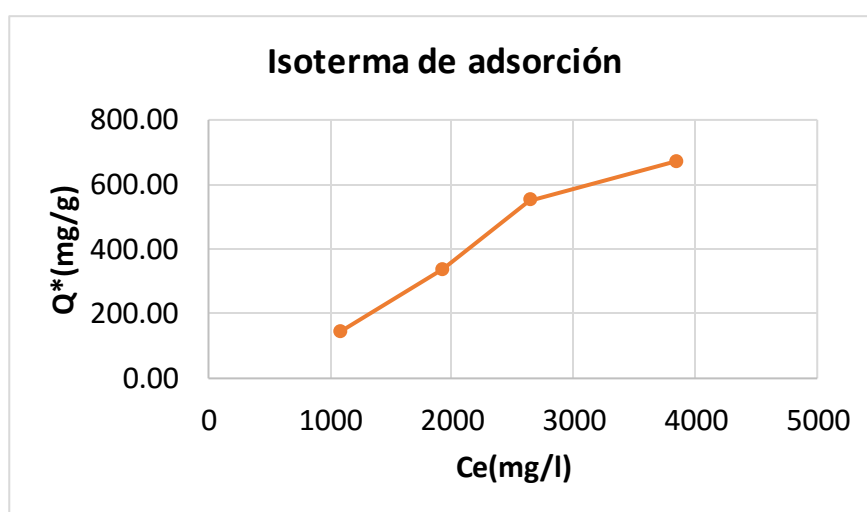


Figura 13. Capacidad de Adsorción del Ácido Acético por C.A.S.M.

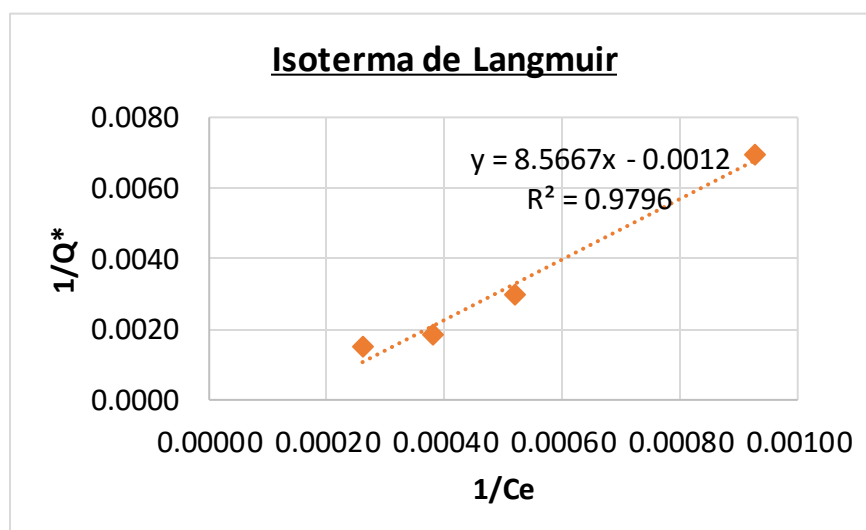


Figura 14. Forma lineal de la ecuación de Langmuir correspondiente a la figura 13.

De la ecuación lineal obtenemos $Q_m = 833,33$ mg de ácido acético adsorbido/g de C.A.S.M., $K = 1,085 \times 10^{-3}$ l/mg.

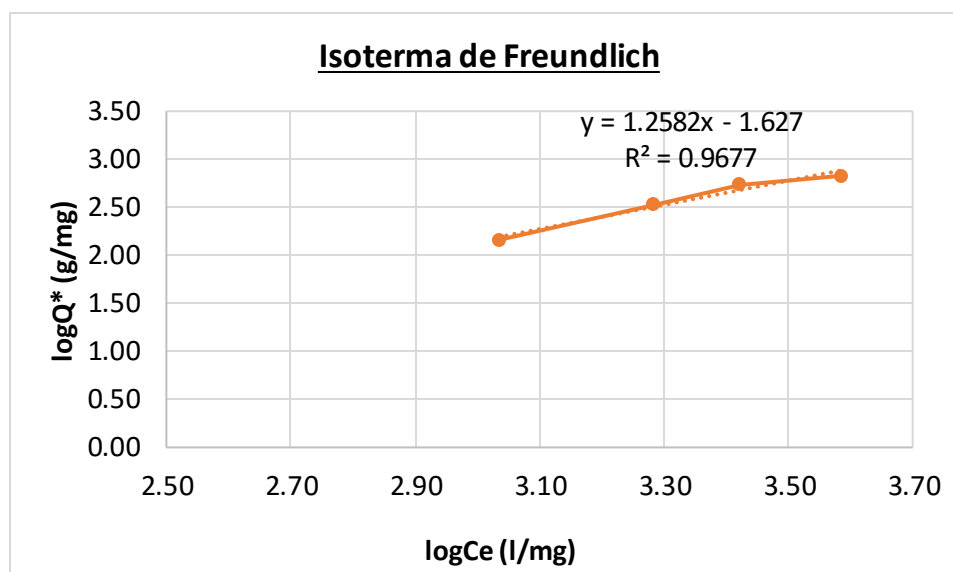


Figura 15. Forma lineal de la ecuación de Freundlich correspondiente a la figura 13.

De la ecuación lineal obtenemos: $n = 0,795$, $K_f = 0,0236$ mg de ácido acético adsorbido/g de C.A.S.M.

4.8.3. Parámetros de las isothermas de Langmuir y Freundlich

Tabla 9

Parámetros de las isothermas para la adsorción de ácido acético sobre Carbones activados.

Isoterma	C.A.Cáscara de moringa	C.A.Semilla de moringa
Langmuir		
k(L/mg)	$2,189 \times 10^{-4}$	$1,085 \times 10^{-3}$
Qm(mg/g)	1250	833,33
R ²	0,9821	0,9796
Freundlich		
n	0,885	0,795
K _f (mg/g)	0,0544	0,0236
R ²	0,9673	0,9677

Nota. Elaboración propia

IV. DISCUSIÓN

En la tabla 2 de los análisis preliminares de la materia prima se puede observar que la cáscara y semilla de moringa el valor promedio a ceniza es de 11,37% y 12,77%, cabe indicar que estos valores están acordes con la norma ASTM. El tener un precursor con baja cantidad de cenizas, propiciara a futuro la síntesis de un carbón activado de alta pureza, una alta presencia de cenizas va en desmedro de la formación de la estructura porosa del carbón activado (Liou & Wu, 2009).

La tabla 3 muestra los valores de rendimiento de los carbones activados de la moringa de 65,60% obtenido de la cáscara y 56,90% de la semilla. El rendimiento del carbón depende de la naturaleza del precursor, la temperatura de activación y, el tipo de agente activante (Delgadillo, 2011).

Las figuras 8 y 9, se muestran los espectros de los carbones activados obtenidos, realizados mediante espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR). En el carbón activado obtenido de la cáscara de moringa destacan las señales a 2901 - 2851 cm^{-1} asignada al grupo (C-H) de alcanos, a 1558 cm^{-1} al grupo (C=O), a 1175 cm^{-1} al grupo (-C-C-) y a 981 cm^{-1} al grupo C-O, y para la semilla destacan las señales a 2921- 2851 cm^{-1} asignadas al grupo (C-H) de alcanos, a 1597 cm^{-1} al grupo (C=O), a 1156 cm^{-1} al grupo (C-C) y a 981 cm^{-1} al grupo C-O. La presencia de enlaces dobles van a determinar la selectividad de la adsorción (Liou & Wu, 2009).

En la tabla 4 se presenta un valor de 11,67 % para la ceniza del carbón activado de la semilla de moringa, valor cercano al obtenido por Burgos y Jaramillo (2015) para el carbón activado obtenido de la cáscara de coco de 12,75% y al del carbón activado comercial de 12,3%.

En la tabla 9 se presentan los valores correspondientes a las isotermas de las figuras 11,12,14 y 15, observando que se logra una capacidad máxima de adsorción (Q^*) de 1250 mg de ácido

acético/g de carbón activado de la cáscara de moringa, frente a 833,33 mg de ácido acético/g de carbón activado de semilla de moringa. Asimismo el modelo de Langmuir describe con mayor precisión los resultados experimentales con respecto al modelo de Freundlich, expresado con el coeficiente de correlación (R^2), que para el carbón activado de la cáscara de moringa (figura11) $R^2 = 0,9821$ y para el carbón de la semilla (figura14) $R^2 = 0,9796$. Estos valores al ser cercano a 1, indica que el proceso de adsorción del ácido acético fue favorable en sitios energéticamente homogéneos del carbón activado, tal como refiere Delgadillo (2011).

El análisis estadístico de varianza (ANOVA) para los valores de análisis químico de los carbones activados obtenidos resultó significativo con una seguridad del 95% ($p < 0,05$) para el porcentaje de carbón fijo, ceniza y materia volátil, a excepción de la humedad ($S = 0,943$) en la que se considera no significativa.

V. CONCLUSIONES

- 1) La caracterización de la cáscara y semilla de moringa dio valores para la ceniza de 11,37% y 12,77%, acorde a lo normado por la ASTM.
- 2) El carbón activado obtenido tuvo rendimientos de $65,60 \pm 1,46$ % para la cáscara de moringa y $56,90 \pm 1,37$ % para la semilla.
- 3) Se determinó las propiedades adsorbentes del carbón activado obtenido, expresado por su capacidad de adsorción, obteniendo un valor máximo de 1250 mg de ácido acético/g de carbón activado de la cáscara de moringa, frente a 833,33 mg de ácido acético/g de carbón activado de semilla de moringa y el modelo de isoterma que describió con mayor precisión los resultados experimentales fue el de Langmuir con un coeficiente de correlación R^2 de 0,9821 para el carbón activado de la cáscara de moringa.

VI. RECOMENDACIONES

- 1)** Los valores de ceniza deben estar en el rango de ceniza (3-15%) y los de materia volátil (>15%).
- 2)** Las muestras después de salir del horno deben ser colocadas en el desecador por 20 minutos aproximadamente para evitar absorción de la humedad del ambiente.
- 3)** Efectuar más investigaciones con residuos orgánicos para la obtención de carbones activados.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abdullah, N. S., Hussin, M. H., Sharifuddin, S. S., & Yusoff, M. A. (2017). Preparation and Characterization of Activated Carbon from Moringa Oleifera Seed Pod. *Science International*, 29(1),7-11.
- Bello, O. S., Adegoke, K. A., & Akinyunni, O. O. (2015). Preparation and characterization of a novel adsorbent from Moringa oleifera leaf. *Applied Water Science*, 7(3), 1295–1305.
- Benavente ,S. L. (2009). *Obtención de Carbón Activado a partir de La Lemna Sp. (Lenteja de Agua) por Activación Química*. (Tesis de Maestria). Universidad Católica Santa María, Arequipa.
- Bonilla, H. D. (2016). *Modelamiento de las Isotermas de Bioadsorción del Plomo (II) del efluente Minero Río Anticona – Cerro de Pasco utilizando Citrus sinensis (Cáscara de Naranja)*. (Tesis de Doctorado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo.
- Boutaréne, H. (2016). *Caractérisation et propriétés d'un adsorbant obtenu à partir de l'activation des boues d'épuration*. (Tesis de Master). Université Dr Moulay Tahar de Saida, République Algérienne Démocratique et Populaire.
- Burgos , G. E. (2015). *Aprovechamiento de Los Residuos de Cacao y Coco para la Obtención de Carbón Activado, en El Cantón Milagro, Provincia del Guayas*. (Tesis de Pregrado). Universidad de Guayaquil.
- Calixtro , L. E. (2016). *Aprovechamiento del Endocarpio de la Pepa de Durazno para Producir Carbón Activado*. (Tesis de Pregrado). Universidad César Vallejos, Lima.
- Delgadillo, G. A. (2011). *Preparación - Caracterización de Carbones Activados a partir de las pepas de Níspero de Palo (Mespilus communi) y su aplicación como material adsorbente de fenol*. (Tesis de Maestría). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.

- Dipa, D., Debi, P. & Melkap, B.C. (2015). Preparation of Activated Carbon from Green Coconut Shell and its Characterization. *Journal of Chemical Engineering & Process Technology*, 6,5.
- Duke., J. A. (2018). Manual de cultivos energéticos. Obtenido de Moringa oleifera lam.: https://hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/Moringa_oleifera.html
- García, A., Martínez, R. y Rodríguez I. (2013). *Evaluación de los usos potenciales del Teberinto (Moringa oleífera) como generador de Materia Prima para la Industria Química*. (Tesis de PreGrado). Universidad de el Salvador, San Salvador.
- Grisales, A. y Rojas, W. (2016). *Obtención de carbón activado a partir de activación química de pulpa de café y su aplicación en la remoción de colorantes en aguas residuales industriales*. (Tesis de PreGrado). Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.
- Hernández, R. I., Atzin, H. M. & Hernández, V. Z. (2018). *Obtención del carbón activado a partir de la semilla de chalahuite para la adsorción y recuperación del ácido oxálico*. (Tesis de Pregrado). Universidad Veracruzana.
- Hernández, M., Otero, A., Falcón, J., y Yperman, Y. (2016). Características físicoquímicas del carbón activado de conchas de coco modificado con HNO₃. *Revista Cubana de Química*, 2-10.
- Liou, T.H. & Wu, S. J. (2009). Characteristics of microporous/mesoporous carbons prepared from rice husk under base- and acid-treated conditions, *J. Hazard. Mater.*, 171(1-3), 693-703.
- Manrique, P. (2013). *Optimización de la Producción de Carbón Activado a partir de Cascarilla de Arroz y su uso en la adsorción de Cromo (VI)*. (Tesis de PreGrado). Universidad Católica de Santa María, Arequipa.
- Martínez, M. (2012). *Preparación y Caracterización de Carbón Activo a partir de Lignina para su Aplicación en Procesos de Descontaminación de Aguas*. (Tesis de Doctorado). Universidad Autónoma de Madrid, Madrid.
- Mash, H., & Rodriguez, F. (2006). *Activated Carbon*. 1st. Edition. Elsevier Science & Technology Books.

- Melon , S. (2017). *Caracterización fisicoquímica de la moringa (Moringa Oleífera)*. (Tesis de PreGrado). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo.
- Orozco, C., Pérez, A., González, M., Rodríguez, F., y Alfayate, J. (2004). *Contaminación Ambiental Una visión desde la Química*. (1ª ed.). Madrid: Thomson.
- Pérez, A., Sanchez, T., Armengol, N. y Reyes, F. (2010). Características y potencialidades de Moringa oleifera, Lamark. *Scielo*, 1-7.
- Ruiz , A. P. (2018). *Obtención de carbón activado a partir de cáscara de naranja (Citrus Sinensis L. Obseck) y su aplicación como adsorbente de plomo (II) en disolución acuosa*. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Sánchez C. (2018). *Caracterización de Carbón Activado a partir de Bambú “Guadua Angustifolia Kunth” Utilizando el Método Químico*. (Tesis de PreGrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.
- Suhas, P., Carrott, P. & Ribeiro, M. (2007). Lignin – from natural adsorbent to activated carbon: A review. *Bioresource Technology*, 98(12), 2301-2312.
- Suman ,B, Rahman, I.& Hasegawa,H.(2014). Evaluation of Moringa oleifera Carbon for the As(III) Removal from Contaminated Groundwater. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 8(3),1390–1399

VIII. ANEXOS

ANEXO I

I. ANALISIS DE MATERIA PRIMA

HUMEDAD

El porcentaje de humedad se determinó en un secador (Memmert) a 110°C, tomando como peso de muestra inicial 1 g de cáscara y 1 g de semilla de moringa.

Mediante la fórmula:

$$\% \text{ HUMEDAD} = \frac{M1 - M2}{M1} \times 100$$

Donde:

M1: masa inicial de la muestra en g

M2: masa final de la muestra en g

MATERIA VOLÁTIL

Se obtuvo por diferencia de peso entre la humedad y el hallado en este ensayo, de una muestra colocada en una mufla a 350°C, por un espacio de 5 minutos.

Mediante la fórmula:

$$\% \text{ MATERIA VOLATIL} = \frac{\text{PERDIDA DE PESO}(X - Y)}{\text{MASA INICIAL PESO INICIAL}} \times 100$$

Donde:

Y: Peso de la cáscara y semilla después de haber pasado por la mufla.

CENIZAS

Se colocó 1 g de muestra en una mufla a 500°C por espacio de 1 hora, este peso determinado se dividió del peso de muestra inicial.

Mediante la fórmula:

$$\% \text{ CENIZAS} = \frac{\text{PESO FINAL (Z)}}{\text{PESO INICIAL}} \times 100$$

Donde:

Z: Peso de la cáscara y semilla después de haber pasado por la mufla.

Carbón fijo

Según el método (ASTM), se determinó restando a 100 la sumatoria de los porcentajes de humedad, material volátil y cenizas.

Mediante la fórmula:

$$\% \text{ CARBON FIJO} = 100 - \% \text{ HUMEDAD} - \% \text{ M. VOLATIL} - \% \text{ CENIZAS}$$

A. HUMEDAD

M1: masa inicial antes del secador.

M2: masa final después de haber pasado por el secador.

SEMILLA DE MORINGA:

$$\% \text{ humedad} = \frac{5 \text{ g} - 4,79 \text{ g}}{5 \text{ g}} \times 100 = 4,20$$

CÁSCARA DE MORINGA:

$$\% \text{ humedad} = \frac{5 \text{ g} - 4,74 \text{ g}}{5 \text{ g}} \times 100 = 5,20$$

B. MATERIA VOLATIL

$$\% \text{ MATERIA VOLATIL} = \frac{\text{PERDIDA DE PESO}(X - Y)}{\text{PESO INICIAL}} \times 100$$

Y: Peso de la cáscara y semilla después de haber pasado por la mufla.

SEMILLA DE MORINGA:

$$\% \text{ Materia Volátil} = \frac{4,79 - 4,00}{5} \times 100 = 15,80$$

CÁSCARA DE MORINGA:

$$\% \text{ Materia Volátil} = \frac{4,74 - 3,80}{5} \times 100 = 18,80$$

C. CENIZAS

$$\% \text{ CENIZAS} = \frac{\text{PESO FINAL}(Z)}{\text{PESO INICIAL}} \times 100$$

Z: Peso de la cáscara y semilla después de haber pasado por la mufla.

Así tenemos:

SEMILLA DE MORINGA:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{0,6}{5} \times 100 = 12,00$$

CÁSCARA DE MORINGA:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{0,54}{5} \times 100 = 10,80$$

D. CARBON FIJO

$$\% \text{ CARBON FIJO} = 100 - \% \text{ HUMEDAD} - \% \text{ M. VOLATIL} - \% \text{ CENIZAS}$$

SEMILLA DE MORINGA:

$$\% \text{ CARBON FIJO} = 100 - 4,20 - 15,80 - 12,00 = 68,00$$

CÁSCARA DE MORINGA:

$$\% \text{ CARBON FIJO} = 100 - 5,20 - 18,80 - 10,80 = 65,20$$

ANEXO II

ANALISIS DEL PRODUCTO

A. ANALISIS FISICO – QUIMICO

- **Rendimiento**

$$\% \text{ RENDIMIENTO} = \frac{\text{PESO DE CARBON ACTIVADO OBTENIDO}}{\text{PESO DE CÁSCARA Y SEMILLA DE MORINGA EMPLEADA}} \times 100$$

Así tenemos:

SEMILLA DE MORINGA:

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{5,66}{10} \times 100 = 56,60$$

CÁSCARA DE MORINGA:

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{6,72}{10} \times 100 = 67,20$$

Teniendo un valor promedio de 65,63% de rendimiento.

B. HUMEDAD, MATERIA VOLATIL, CENIZAS, Y CARBON FIJO DEL CARBÓN ACTIVADO

Se emplearon las ecuaciones utilizadas en los análisis de materia prima.